

Dubbelglasfasader - En brandteknisk förstudie

Axel Jönsson, Robert Jansson McNamee, Hans Nyman



Brandforsk



Sammanfattning

Idag blir så kallade dubbelglasfasader allt vanligare av både arkitektoniska såväl som energitekniska skäl. Den speciella fasadutformningen kan dock leda till att bränder i byggnaderna kan få en oväntad utveckling och risken för brandspridning mellan våningsplanen kan öka avsevärt. Själva lösningen blir dessutom svårtolkad enligt dagens gällande regelverk. Brandskyddslaget har i samarbete med SP Fire research utfört en förstudie för att belysa problematiken kring dubbelglasfaser och bränder samt illustrerat lite av problematiken vid modellering av dessa fenomen med ett exempel. Studien är finansierad av Brandforsk.

I litteraturstudiedelen beskrivs översiktligt olika möjliga utformningar av dubbelglasfasader, utformade enligt dagens regelverk (BBR 22), inträffade bränder samt beskrivning och resultat från brandförsök som utförts och publicerats internationellt. I ett kapitel redovisas sedan exempel på tillämpade beräkningar (FDS-beräkningar) gjorda av Brandskyddslaget utifrån dagens kunskapsnivå med resonemang avseende begränsningar.

Den rent brandtekniska problematiken avseende dubbelglasfasader är att utformningen kan innebära en förhöjd risk för brandspridning mellan våningsplanen om en flamma slår ut genom ett glasparti i den inre fasaden och sedan inte går igenom den yttre fasaden utan knäcker glaset i innerfasaden på våningen ovanför. Dessutom är de riktlinjer som ges i BBR och i BBRAD inte anpassade för denna typ av konstruktioner vilket kan innebära att utformningen behandlas olika från projekt till projekt. Detta beror på att lösningen är relativt ny i Sverige, vilket inneburit att byggreglerna ännu inte hunnit anpassas till konceptet. Det kan dock konstateras att riskbilden i en byggnad onekligen påverkas av en dubbelglasfasad.

Ett antal experimentella studier med dubbelglasfasadssystem har genomförts men generella slutsatser är svåra att dra då utformningarna varit olika och dokumentationen inte är fullständig. Inverkan av vind från utsidan har inte heller studerats.

Genomgången visar att det i dag saknas både riktlinjer, regelverk och kunskap inom området. För att kunna upprätta tillämpbara riktlinjer bör fullskaleförsök utföras. Dessutom bör dessa försök användas för att verifiera huruvida de beräkningsmodeller som idag tillämpas för simulering av brandförlopp kan behandla problematiken som en yttre fasad innebär.

Summary

Double glass façades are a building solution that is gaining ground in today's built environment. The reasons for this are winnings in both architectural freedom as well as energy aspects. The special facade design can lead to an unexpected development of a fire within the building and the risk of fire spreading between floors could increase significantly. The solution also becomes difficult to interpret according to current applicable building regulations.

Brandskyddslaget in cooperation with SP Fire Research have conducted a pilot study to illustrate the uncertainties that double skin façades pose in a fire situation, and also connected to the interpretation of the building code. In addition to this the difficulty in modelling the fire dynamics in double skin façades is illustrated. This pilot study is financed by Brandforsk.

In the literature review, a few examples of design alternatives that cope with the current building regulation (BBR 22) are given. Also this review gives information on occurred fires and results of fire tests that have been internationally published. In another section of the report some examples of applied calculations made by Brandskyddslaget (in FDS) are shown to illustrate the current knowledge gaps in this area.

The potential technical problems relating to the double glass façade in the fire situation is that the design can increase the risk of a fire spreading between floors. This can happen when flame bursts out through a window in the inner facade without cracking the glass in the outer facade. In addition, the guidance given in Swedish regulations (BBR and BBRAD) is not suited for this type of constructions which may mean that the design is treated differently in different projects. The main cause for this is that the use of double skin glazed façades is relatively new in Sweden, which means that the current fire regulation have not yet had time to adapt to the concept. The pilot study shows that the risk of fire spread within a building is undeniably influenced by a double glass facade.

A number of experimental studies with double-glazed façade systems have been reviewed but general conclusions are difficult to draw because of different designs and lack of complete documentation. The influence of wind from the outside has not been studied in any fire test.

The pilot study shows that there is currently a lack of guidelines, rules and knowledge within the field. In order to establish the applicable guidelines, full scale tests need to be performed. Furthermore, these tests can be used to verify whether the computational models of fire and smoke spread that are currently available can treat the problem that an exterior façade means correctly.

Förord

Projektet är finansierat av Brandforsk och utfört av Brandskyddslaget och SP. Projektledare var Hans Nyman Brandskyddslaget och övriga projektdeltagare var Axel Jönsson, Brandskyddslaget och Robert Jansson, SP.

Ett stort tack till Karin Olsson och Anton Westerlund som under en sommar på Brandskyddslaget utförde grunden till litteraturstudiedelen i denna rapport.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	3
SUMMARY.....	4
FÖRORD	5
1. INLEDNING	8
1.1 Rapportstruktur	8
2. BAKGRUND	8
2.1 Vad är en dubbelglasfasad.....	8
2.2 Varför används dubbelglasfasader?	9
2.3 Finns dubbelglasfasader i Sverige?	10
2.4 Riskidentifiering	10
3. DUBBELGLASFASADER ENLIGT BYGGREGLERNA.....	10
3.1 Förenklad dimensionering.....	10
3.2 Analytisk dimensionering	13
4. INTRÄFFADE BRÄNDER	14
5. UTFÖRDA BRANDFÖRSÖK.....	14
5.1 Studie vid Försvarets Forskningsanstalt	14
5.2 Studie utförd av C. L.Chow m fl.	16
5.3 Studie utförd av Lee m fl.....	17
5.4 Studie utförd av Ding m fl.....	18
5.5 Studie utförd av W. K. Chow m fl.....	18
5.6 Studie nummer 2 utförd av CL Chow.....	19
5.7 Sammanfattning av utförda försök.....	19
6. NUMERISKA BERÄKNINGAR	20
6.1 Tillämpade beräkningar	21
6.1.1 Metodval.....	22
6.1.2 Geometriska förhållanden.....	22
6.1.3 Exempel på resultat	24
7. DISKUSSION	27
8. SLUTSATSER	28
9. FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING.....	28
LITTERATURFÖRTECKNING	29

1. Inledning

Det har blivit allt vanligare att byggnader utförs med ett dubbelt klimatskal både i Sverige och i övriga världen. Detta eftersom sådana fasadlösningar ger större möjlighet till reglering av inomhusklimatet på ett energieffektivt sätt vilket kan leda till stora besparingar. Dessutom innebär lösningen att större arkitektonisk frihet ges vid utformningen, vilket ofta är önskvärt.

Den speciella fasadutformningen kan dock leda till att bränder i byggnaderna kan få en oväntad utveckling och risken för brandspridning mellan våningsplanen kan öka avsevärt. Det finns i dagsläget ett kunskapsglapp kring det brandtekniska beteendet hos dessa fasader och ytterligare forskning behövs inom området. Rådande byggregler är inte heller anpassade för den situation som fasaderna innebär och konkreta riktlinjer kring utformningen av dessa saknas, vilket innebär att analytisk dimensionering enligt Boverkets byggregler (BBR) krävs. För att redogöra för kunskapsläget kring dessa fasaders beteende i brandfallet har Brandskyddslaget i samarbete med Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP, tagit fram denna studie. Studien är finansierad av Brandforsk.

1.1 Rapportstruktur

För att underlätta för läsaren inleds denna rapport med en bakgrund där konceptet dubbelglasfasad redogörs för. Här förklaras även vilka fördelar som fasadlösningen innebär samt hur byggnadens riskbild i brandfallet kan påverkas av lösningen.

I det efterföljande avsnittet behandlas hur fasadens utformning bör utföras för att falla inom dagens byggregler. Här förklaras olika alternativ på utformning som faller inom det förenklade regelverket samt hur riktlinjerna för analytisk dimensionering förhåller sig till utformningen.

Sedan visas ett exempel på en inträffad bränd i en byggnad med dubbelglasfasad och vidare diskuteras ett antal utförda brandförsök. Här redovisas försöksupställningar och slutsatser från försöken. Försöken och dess resultat/slutsatser har även kommenterats med avseende på vilka slutsatser som kan dras av försöken samt vilka parametrar som skulle behöva studeras ytterligare.

Efter brandförsöken redovisas studier med genomförda numeriska beräkningar för att efterlikna situationen med en brand i en dubbelskalsfasad. Även här kommenteras studierna. Här redovisas även genomförda beräkningar på Brandskyddslaget, som utförts för att användas som informationsstöd vid brandtekniska bedömningar av utformningen.

Rapporten avslutas med diskussioner och slutsatser.

2. Bakgrund

I detta kapitel redogörs för grunderna kring dubbelglasfasader, varför de används samt hur de påverkar riskbilden vid en brand i en byggnad.

2.1 Vad är en dubbelglasfasad

En dubbelglasfasad omfattas i regel av två glasfasader med ett 0,2 till 2 meter brett utrymme emellan. Dessa fasader kan utformas på flera olika sätt vilket gör att ventilationen av det åtskiljande utrymmet, luftspalten, kan se olika ut. Skillnaden mellan de olika typerna är avgränsningarna mellan den inre och den yttre fasaden. Enligt Carlsson (2005) [1] går det översiktligt att hålla isär följande fyra olika huvudtyper.

1. Korridorfasad
2. Boxfasad
3. Schaktboxfasad
4. Flervåningsfasad

I figur 1 visas ett exempel på en flervåningsfasad vilket är huvudfokus i detta projekt.



Figur 1. Flervåningsfasad från Victoria Ensemble i Köln.

2.2 Varför används dubbelglasfasader?

Glas är det byggmaterial som under de senaste 20 åren utvecklats mest [2]. Inglasade byggnader, både enkel- och dubbelglasfasader, har kommit att bli en viktig del inom modern arkitektur. Genom att använda glasade fasader fås en luftig, öppen och ljus miljö i byggnaden.

Enligt modern forskning spelar dagsljuset en betydligt viktigare roll för människans biologiska funktioner och välbefinnande än vad man tidigare trott. Dessa forskningsresultat har gjort att högre krav på dagsljusnivån har ställts på byggnader eftersom människan idag tillbringar större del av sin tid inomhus. Det är dock inte bara krav på dagsljus som styr dagens byggande. Krav på sol- och energibehandling samt ljud och komfort är numera fastställda. I och med att dessa krav ställs kan även vissa problem uppkomma. Dessa problem kan till stora delar lösas genom att använda dubbelglasfasad [3].

Dubbelglasfasader bidrar med flera positiva egenskaper och fördelar i en byggnad. Exempel på dessa är:

Attraktiv exteriör. Utformningen kan bli arkitektoniskt friare i och med att den yttre fasaden inte på samma sätt är bunden till utformningen av byggnaden på samma sätt som en inre fasad.

Energisparande och bidragande till en god inomhusmiljö. En rätt designad, konstruerad och monterad dubbelglasfasad kan vara både energisparande och ge en god och mer komfortabel inomhusmiljö. Ur energisynpunkt ger utformningen fördelar genom att luften mellan glasskikten värms upp av solen och kan sedan ledas in i inomhusutrymmena vilket gör att ingen, eller lite, ytterligare uppvärmning behövs för vissa delar av året [4]. Fasadtypen har även god ljudisoleringsförmåga vilket också bidrar till en mer komfortabel inomhusmiljö då yttre buller stängs ute [2].

Fördelaktiga vädringsmöjligheter. I vissa dubbelglasfasader kan fönster i den inre glasfasaden öppnas vilket ger goda vädringsmöjligheter för lokalerna innanför jämfört med traditionella glasfasader med ej öppningsbara fönster.

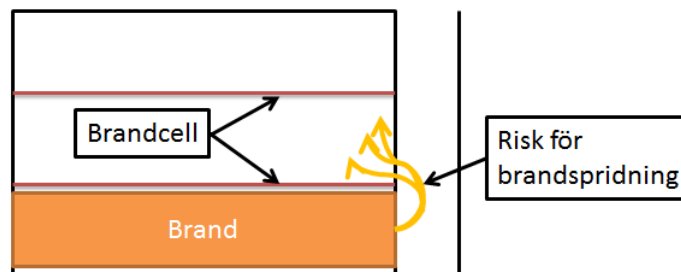
Solavskärmning. För att skydda mot solljus kan en skyddande anordning, ofta en persienn, placeras i hålrummet mellan glasskivorna. Denna skuggningsanordning bidrar till att minska risken för att inomhusklimatet blir för hett genom att persiennen absorberar och reflekterar strålningsenergin från solen. Genom att dubbelglasfasader kan placera sitt solskydd mellan fasaderna ger det fasadtypen ytterligare en fördel eftersom solavskärmningen sker utanför själva vistelseytan och kan dessutom användas även de dagar då det blåser mycket [2].

2.3 Finns dubbelglasfasader i Sverige?

Dubbelglasfasader är numera vanligt förekommande i Sverige. Byggnaderna förekommer i hela Sverige och exempel är Gina Tricots huvudkontor i Borås, Kista Science Tower i Kista samt ABB Business Center i Häggvik. Utöver dessa befintliga byggnader så finns flera pågående byggprojekt där lösningen är föreslagen.

2.4 Riskidentifiering

Den rent brandtekniska problematiken avseende dubbelglasfasader är den förhöjda risken för brandspridning mellan våningsplanen om en flamma slår ut genom ett glasparti i den inre fasaden, se illustration i figuren nedan.



Figur 2. Illustration över den förhöjda brandspridningsrisken som utformningen med dubbelglasfasad innebär.

Det identifierade problemet med fasadens utformning ligger i att en yttre fasad adderas utanför den inre vilket innebär att särskild hänsyn behövs i jämförelse med traditionella fasadsystem. Orsaken till detta är att brandgaser, om de kommer ut i spalten inte kyls av och blandas med uteluften i samma utsträckning som sker med de brandgaser som kommer ut genom fönster i en traditionell fasad. På grund av luftflödena i fasaden och öppningens utformning kan flammen även i vissa situationer tryckas in mot den inre fasaden.

Utformningen kan alltså innebära en förhöjd risk för spridning av brand- och brandgaser mellan våningsplanen.

3. Dubbelglasfasader enligt byggreglerna

Vid projektering av byggnader i Sverige gäller Boverkets byggregler. I detta regelverk finns två olika sätt att uppfylla kraven som ställs. Antingen utformas byggnaden enligt de förenklade regler som finns angivna i BBR, så kallad förenklad dimensionering, eller så utformas skyddet på annat sätt där säkerhetsnivån i byggnaden visas genom beräkning eller logiska resonemang, så kallad analytisk dimensionering. Hur dubbelglasfasader kan utformas med hänsyn till dessa metoder redovisas nedan.

3.1 Förenklad dimensionering

I nu gällande version av Boverkets byggregler (BBR 22) [5] finns följande kravställningar kring utformningen av ytterväggar i Br1-byggnader (där denna utformning bedöms vara av högst relevans):

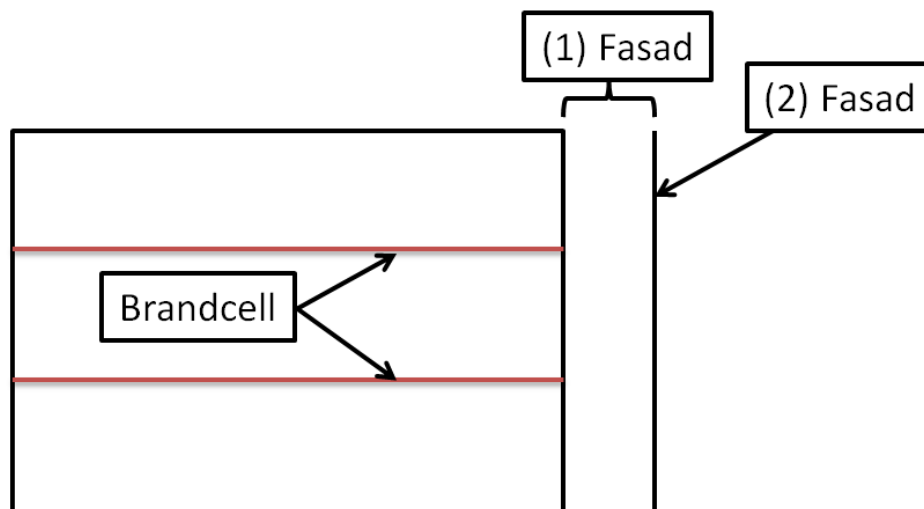
Föreskrift (BBR 5:551)

Ytterväggar i byggnader i klass Br1 ska utformas så att

1. den avskiljande funktionen upprätthålls mellan brandceller,
2. brandspridning inuti väggen begränsas,
3. risken för brandspridning längs med fasadytan begränsas,
4. risken för personskador till följd av nedfallande delar av ytterväggen begränsas.

Till ovanstående föreskriftskrav finns även en rådtext som beskriver mer i detalj för hur dessa krav ska uppfyllas. För fasader kan till exempel SP FIRE 105 (en svensk testmetod) utföras för att visa att fasade uppfyller några av punkterna ovan.

Enligt det förenklade regelverket finns det två sätt att betrakta en dubbelglasfasad. Antingen betraktas den inre fasaden, luftspalten och den yttre fasaden tillsammans som fasadsystemet, se (1) i figuren nedan. Med detta synsätt ska hela systemet uppfylla samtliga fyra punkter i föreskriften ovan. Alternativet till detta är att endast den yttre fasaden betraktas som fasad, se (2) i figuren nedan. Därmed är det den yttre fasaden som ska uppfylla de fyra punkterna. Utrymmet innanför fasaden blir då likvärdigt med ett schakt eller ett separat utrymme som utformas som egen brandcell för att inte binda samman olika brandceller.



Figur 3. Olika sätt att tolka fasadbegreppet enligt BBR.

Tolkningarna ovan är olika men i praktiken innebär de ungefär samma krav på brandskyddet. Görs tolkningen enligt (1), det vill säga att fasadsystemet i sig ska uppfylla de fyra punkterna gäller följande:

1. För att uppfylla punkt 1 i föreskriften behövs en avskiljning mot luftspalten från varje brandcell. I en Br1-byggnad ska skyddet mellan brandceller uppfylla EI 60. Detta kan uppfyllas genom att glasytorna in mot luftspalten utformas EI 30. Det är då ett EI 30 skydd ut till luftspalten och ett EI 30 skydd in från luftspalten. Detta summeras till EI 60.
2. Ovanstående grundar sig i att det inte finns något brännbart i luftspalten, vilket även är en grundförutsättning för att uppfylla punkt 2. Ytskikt på både den yttre och den inre fasaden ska alltså vara obrännbara.
- 3-4. Den yttre fasadytan utgörs av en "vanlig" glasfasad. Denna kan då utformas likt en "vanlig" glasfasad (som om fasaden suttit direkt på insidan) så att punkt 3 och 4 uppfylls. Vissa justeringar kan dock behövas för att hänsyn ska kunna tas till punkt 4.

Om tolkningen istället görs att den yttre fasaden i sig är fasadsystemet ska denna uppfylla de fyra punkterna. Då har vi dock ett utrymme som sammanbinder olika brandceller om inte avskiljningar utförs mot luftspalten. Om luftspalten inte innehåller något brännbart kan det liknas vid ett ventilationsschakt och samma summeringsprincip som i punkt 1 ovan kan tillämpas. Finns det brännbart i luftspalten ska avskiljningarna dock uppfylla EI 60 till varje brandcell.

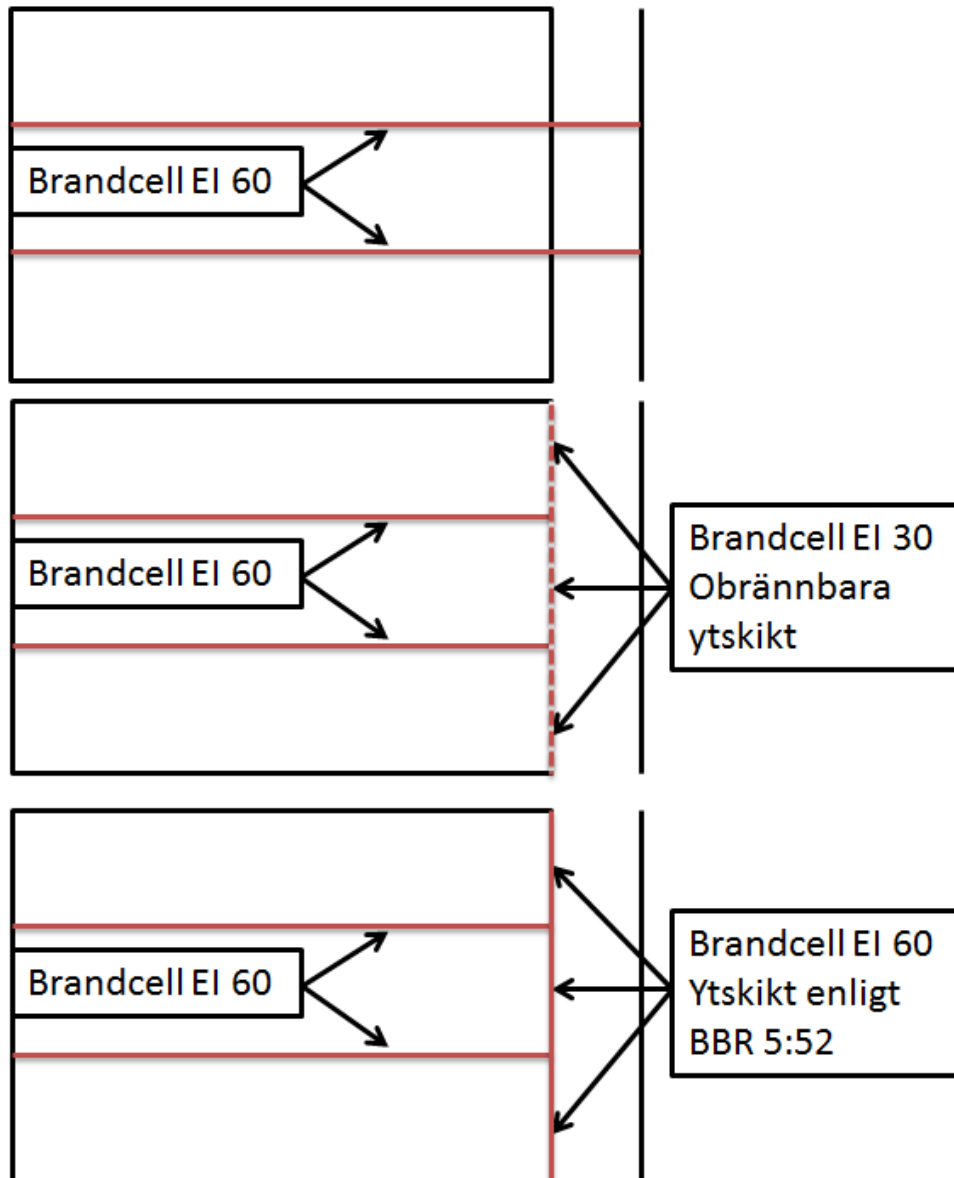
Fönster i den inre fasaden måste alltså klassas enligt förenklad dimensionering oberoende av hur fasadsystemet tolkas. Om den tidigare tolkningen tillämpas skulle tolkningen kunna göras att man kan tillämpa de förenklade avstånd som anges i BBR 5:553 angående fönster i ytterväggar. I denna föreskrift anges följande:

Föreskrift (BBR 5:553)

Fönster som tillhör skilda brandceller i samma byggnad och som vetter mot varandra eller är placerade ovanför varandra i höjddled, ska utformas och placeras så att brandspridning mellan brandceller begränsas. Brandklassade fönster får endast vara öppningsbara med verktyg, nyckel eller liknande.

Detta kan enligt det allmänna rådet antas vara uppfyllt om fönster i yttervägg som tillhör olika brandceller placeras på ett inbördes avstånd om minst 1,2 meter ifrån varandra i vertikalled eller om man utför något, eller båda fönsterna, med brandteknisk klassning (E 30 om bara ena fönstret klassas och E 15 om båda klassas). Observera att detta dock endast gäller fönster placerade i ytterväggen, det vill säga den yttersta fasaden. För fönster i den inre fasaden gäller att skydd mot brandspridning ut till luftspalten alltid föreligger enligt ovanstående. De avstånd som anges i BBR 5:553 är dock inte framtagna för de förutsättningar som en dubbelglasfasad ger.

De lösningar som uppfyller kraven enligt förenklad dimensionering i BBR illustreras i figuren nedan.



Figur 4. Illustration över de olika möjliga lösningarna enligt förenklad dimensionering i BBR.

3.2 Analytisk dimensionering

Om den förenklad dimensionering inte är anpassad för situationen, som i fallet med dubbelglasfasader, kan analytisk dimensionering tillämpas för att visa att en tillfredsställande säkerhetsnivå uppnås. Vid sådan dimensionering kan Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD, [6] tillämpas.

I detta råd finns det i avsnitt 4.1 anvisningar kring verifiering av avskiljande förmåga mellan brandceller. För att definiera påfrestningen på brandscellsskiljande byggnadsdelar hänvisar rådet i sin tur till Eurokoden SS-EN 1991-1-2 [7] bilaga A där det finns en modell för naturliga brandförlopp. Detta bedöms dock inte vara tillämpligt för ändamålet då denna modell endast gäller en fullt utvecklad rumsbrand.

I SS-EN 1991-1-2 [7] bilaga B finns förenklade beräkningsmodeller för temperaturpåverkan på utvändiga konstruktionsdelar. Dessa beräkningsmodeller ger möjlighet till beräkning av flammor längs en fasad från ett fönster. Dock är dessa väldigt förenklade och vid jämförelser med experiment ger dessa beräkningsmetoder väldigt grova resultat [8]. Det finns heller ingen modell som tar hänsyn till en utanförliggande fasad.

För analytisk dimensionering av utformningen av dubbelglasfasader finns alltså inga förenklade beräkningsmodeller som är accepterade i dagsläget. Med dagens regelverk bedöms det därmed endast vara möjligt att utföra analytisk dimensionering genom avancerade beräkningsmodeller som t.ex. CFD beräkningar. Även denna sorts beräkningar saknar dock i dagsläget fullständig validitet.

4. Inträffade bränder

Under 2012 bröt en brand ut på 12:e våningen i First International Financial Centre i Bombay, Indien. Enligt Menon [9] var branden en stor utmaning för räddningstjänsten och han citerar chefen för räddningstjänsten SV Joshi enligt följande:

“The building had double glass cladding, which was sealed, with no ventilation for the smoke to move out. This made it difficult for the firemen to even enter the premises. Also, there are risks while breaking the glass, as the shards can injure our firemen or it might even injure those at the ground. Luckily no casualties were reported.” Med tillägget: “It is difficult to carry out fire operations in such glass buildings – toxic fumes spread all over the floors, with no outlet. There is no visibility and the heat level within the premises goes beyond controllable level, hampering the operation “

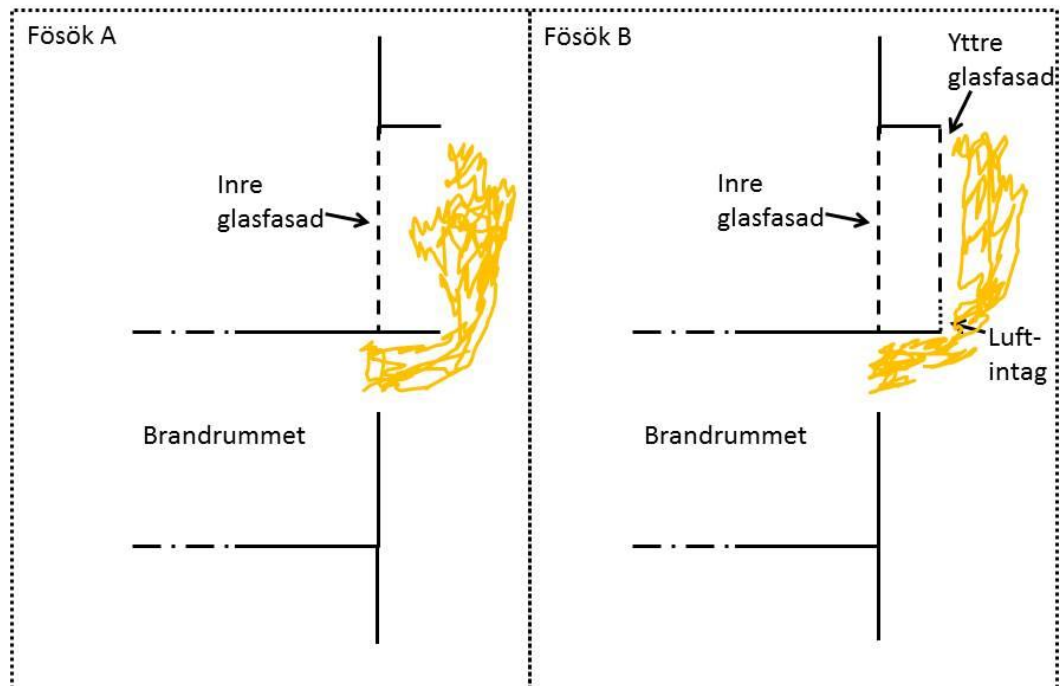
Ingen ytterligare information har hittats kring den inträffade branden eller någon annan brand i ett dubbelglasat fasadsystem.

5. Utförda brandförsök

I detta kapitel redovisas och diskuteras en handfull brandförsök som utförts.

5.1 Studie vid Försvarets Forskningsanstalt

Under våren 2000 utförde Försvarets Forskningsanstalt en försöksserie med brandtester på dubbelglasfasader på uppdrag av NCC och Brandskyddslaget [10] [11]. Försöksserien bestod av två försök varvid det första innehöll brandpåverkan på en inre glasfasad och det andra försöket brandpåverkan från utsidan på en dubbelglasfasad, se Figur 5. Brandrummet med en öppning på $3 \times 1,1 \text{ m}^2$ (B x H) hade en brandlast på 400 kg träribbstaplar samt brännbart skivmaterial på väggarna.



Figur 5 Principskiss av två försöksuppställningar som användes av [10]. Den utskjutande delen ovan öppningen, flamskärmen, stack ut 70 cm och bestod av betong.

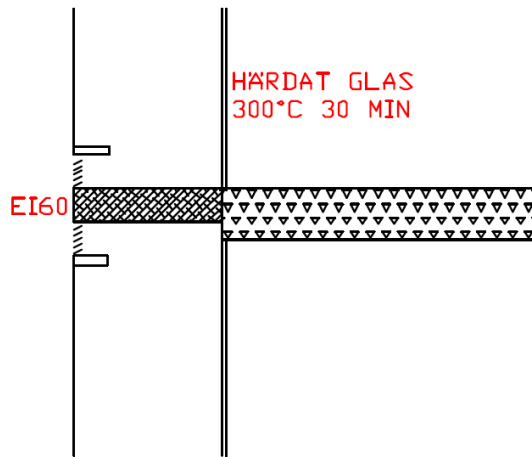
Vid det första försöket testades två olika glassektioner, 190 x 55 cm vardera, som monterades bredvid varandra. Den ena sektionen bestod av två 6 mm tjocka floatglas med luftspalt mellan, den andra sektionen var ett yttre härdat glas¹, 6 mm, och ett inre ett floatglas, 6 mm, även dessa med en luftspalt mellan glasen. Ungefär 8 minuter efter brandstarten började flammorna slå ut ur brandrummet och cirka 2-3 minuter senare skedde övertändning i rummet. Övertändningen pågick i ca 11 minuter varefter effekten avtog. Under brandförloppet verkade det som om flammorna endast i måttlig omfattning sökte sig inåt till glaset, betongplattan med utskjutet 70 cm fungerade som en flamskärm och höll undan flammorna. Efter försöket var glassektionen som innehöll härdat glas intakt men floatglassektionen hade spruckit och små bitar hade fallit ned.

Vid försök nummer 2 monterades en yttre glasfasad bestående av ett härdat 6 mm tjockt enkelglas framför den inre glasfasaden som var identisk med försök nummer 1. Brandförloppet som erhöles var mycket likt det vid försök nummer 1. Flammorna verkade i detta försök dra förbi luftintaget varvid endast små mängder brandgaser tränger in i mellanrummet. Luftintaget var försett med svällande lister som inte svällde under den måttliga uppvärmningen. Efter cirka 12 minuters brand, 6 minuters direkt flampåverkan, sprack den yttre fasaden upp och föll ned. Efter ytterligare ungefär 1,5 minuter började den inre floatglassektionen att spricka vilket ledde till en liknande sprickbild som i försök 1 (den inre härdade glassektionen uppvisade inga tendenser till sprickbildning).

¹ De härdade glasen som användes var glas som klarar 300°C i 30 minuter enligt [11].

Slutsatsen från försöken var enligt Delin och Walmerdahl [11] att den utskjutande flamskärmen på 70 cm, i klass EI 60, på var fjärde våning samt användandet av härdat glas gjorde att det var en okej design för ett 34 våningars hus, se detalj i Figur 6. På så vis kunde byggnadskostnaden sänkas med 2,5 miljoner kronor jämfört med om brandsäkert glas (E60) hade använts i hela fasaden. Byggnaden var även sprinklad.

Kommentar: I beskrivningen av experimenten saknas en diskussion kring valet av höjd på öppningen ut från brandrummet. Detta val torde ge en viss inverkan på resultatet.



Figur 6. Den slutliga lösningen av fasadkonstruktionen för att hindra brandspridning förbi storbrandcellsgränserna även om aktiva brandskyddssystem skulle falla.

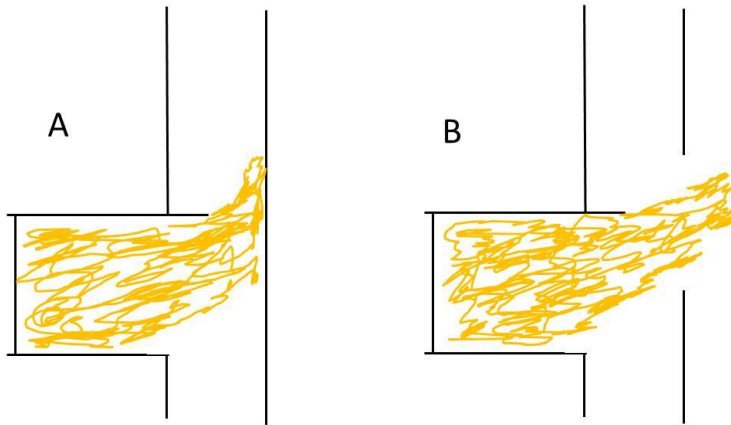
5.2 Studie utförd av C. L. Chow m fl.

Effekten av utskjutande våningsavdelare, flamskärmar, i dubbelglasade fasader har även studerats av Chow et al. (2015) [12]. Men här var syftet att undersöka om den utskjutande våningsavdelaren kan användas för att leda ut de varma gaserna mot det yttre glaset vilket när det går sönder ventilerar branden, se Figur 7. I försöken användes en cirkulär pölbrand med diametern 0,81 m placerad i en brännkammare. Bränslet var bensin och maxeffekten 1200 kW vilket anges baserat på tidigare fribrinnande experiment. Öppning ut från brandrummet var (bredd x höjd) 1,5 x 1 m och en fläkt användes för att blåsa flammorna ut mot fasadsystemet. Avståndet mellan inre och yttre glas var 2 meter i experimenten och både experiment utan flamskärm samt 0,5 och 1 meters flamskärmar redovisas.

Resultaten är inte helt tydliga, dock visas att den utskjutande flamskärmen höjer temperaturerna på den yttre glasrutan. Det poängteras också att det kan finnas en risk för folk nedanför fasaden då glaset faller ned. Författarna understryker att den numeriska modellen som används inte är fullt validerad och om den skall användas för riktiga projekt bör experimentella studier inkluderas.

Kommentarer:

- Varken kalorimetriska mätningar av brandeffekten eller vikt förlusten hos brandkällan mättes under provet. Detta tillsammans med att man använt en fläkt för att blåsa in flammorna mellan glaspanelerna i fasaden gör att branden är dåligt definierad. Dock utfördes alla experiment med samma fläkt pådrag.
- Glaset som användes är inte beskrivet i detalj.

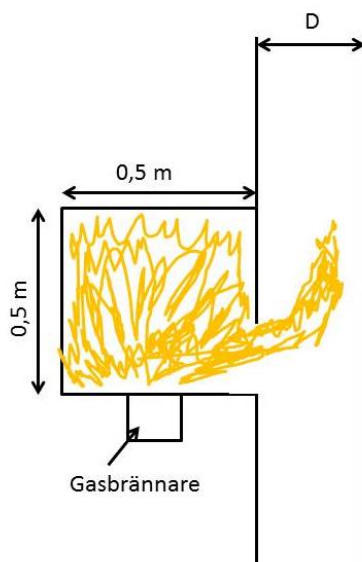


Figur 7 De varma gaserna leds mot den yttre glastrutan så att den går sönder och ventilerar rökgaserna [12].

5.3 Studie utförd av Lee m fl.

Värmeflödet från en extern brand på fasaden och intilliggande byggnader har studerats av Lee et al. (2009) [13] och Hu et al. (2013) [14] med hjälp av skalade experiment. Dessa experiment liknar fallet då en brand sprider sig ut i en dubbelglasad fasad dock är inte ytterskalet ett glas. I provuppställningen som kan ses i Figur 8 varierades öppningen ut från brandrummet och avståndet mellan de parallella väggarna. En längdskala, l_3 , definierades vilken representerade den längd vid vilken flammorna ut från brandrummet övergår från ett horisontellt till ett vertikalt flöde, dvs stigitkrafterna blir större än den horisontella rörelseenergin hos plymen ut från rummet. När den längden översteg avståndet mellan väggarna, D i Figur 8, kunde en tydlig ökning av flammhöjden ses.

Kommentar: Uttryck för flammhöjd och värmeflöde till de två parallella väggarna härleddes, dock vet vi inte med säkerhet om dessa uttryck är tillämpbara för större öppningar och för andra vid brand mer naturliga bränslen (i experimenten användes gas).

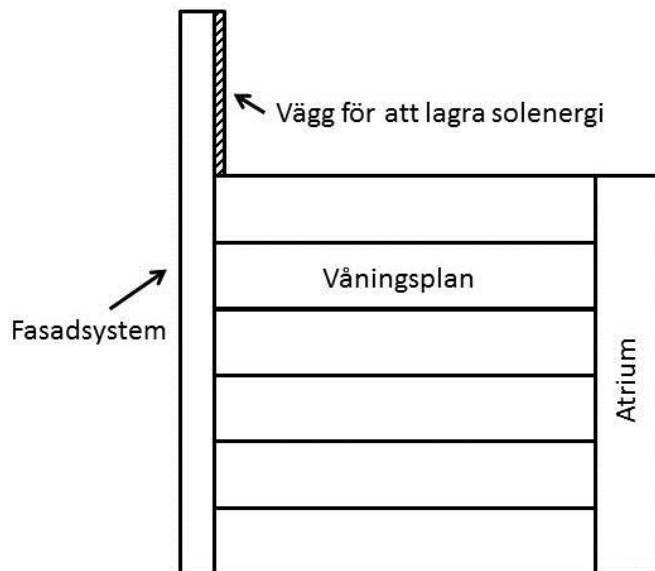


Figur 8 Provuppställning använd av Lee et al (2009) [13] för att undersöka flammor som stiger mellan två parallella väggar. Avståndet mellan väggarna, D , varierades mellan 0.1 och 0.5 m.

5.4 Studie utförd av Ding m fl.

En innovativ ide angående hur rök kan evakueras från en dubbelglasfasad har presenterats av Ding et al., (2005) [15]. Författarna föreslår en sorts förlängning av fasadsystemet uppåt för att på så sätt skapa naturlig ventilation både till vardags och för att få ut rök. Upplägget, som visas i Figur 9, har undersökts med hjälp av en skalmodell och CFD beräkningar.

Kommentar: Upplägget bör fortfarande anses vara på idéstadiet.



Figur 9 System för naturlig ventilation och rökevakivering enligt Ding et al, (2005).

5.5 Studie utförd av W. K. Chow m fl.

W.K Chow², genomförde 2006 åtta stycken brandtester för att undersöka hur en dubbelglasfasad kan påverka brand och rökspridning [16] [17]. Försöken genomfördes i en modell som var totalt 4 meter hög med ett varierat djup på luftspalten. De testade djupen var 0,5, 1,0 samt 1,5 meter. Glasskivorna som användes hade en area på 2 x 1,5 meter och en tjocklek på 3,5 mm. Försöket genomfördes med en brandeffekt på 550 kW med en öppning ut från brandrummet på (bredd x höjd) 1,5 x 0,8 m. Slutsatsen från studien var att det mest kritiska djupet på kaviteten är 1 meter, vilket var scenariot där den inre rutan gick först, 0,5 och 1,5 meters kaviteten var alltså mindre kritisk.

Kommentar: När man analyserar resultaten är det värt att notera att endast en geometri på öppningen ut från brandcellen samt en brandeffekt är testad vilket gör att resultatet ej kan ses som allmängiltiga. Som ett belysande exempel ändrar geometrins på öppningen ut från rummets branden strömningsfältet då höga smala öppningar ger en högre hastighetskomponent rakt ut mot den yttre fasaden jämfört med breda låga öppningar med samma öppningsarea [18].

² Notera att det finns två olika forskare med namnet Chow i denna litteratursammanställning.

5.6 Studie nummer 2 utförd av CL Chow

Cheuk Lun Chow utförde försök för att undersöka hur olika djup påverkar hur flammor och rök beter sig inuti luftspalten hos en dubbelglasfasad [19]. I försöken användes en cirkulär pölbrand med diametern 0,81 m placerad i en brännkammare (samma experimenttrigg som den beskriven i kapitel 5.2). Bränslet var bensin och maxeffekten 1200 kW vilket anges baserat på tidigare fribrinnande experiment. Öppning ut från brandrummet var (bredd x höjd) 1,5 x 1 m och en fläkt användes för att blåsa flammorna ut mot fasadsystemet. Totalt genomfördes åtta försök enligt Tabell 1. Tre olika fall av flamspridning identifierades; (i) rakt ut mot den externa glasskonstruktionen, (ii) som en plym mellan inre och yttre glaset samt (iii) rakt upp utefter det inre glaset. En generell slutsats från studien var att det föreligger en stor riska att glastrutorna spricker i dessa konstruktioner. Även i denna studie användes endast en effekt och en öppningsgeometri ut från brandrummet.

Kommentarer: Samma som kommentarerna under kapitel 5.2 då samma testtrigg användes.

Tabell 1 Summering av experimentresultat [19].

Test nummer	Avstånd mellan glas [m]	Sprickor yttre glas [s]	Sprickor inre glas [s]
D1	2	nej	227
D2	2	nej	137
D3	1,5	152	117
D4	1,5	144	116
D5	1	115	94
D6	1	104	Ingen observation
D7	0,5	69	Ingen observation
D8	0,5	92	110

5.7 Sammanfattning av utförda försök

Genomgången av försök som gjorts visar att frågeställningen är komplex. Då både brandscenarier och själva uppbyggnaden av systemen vid experimenten i många fall är dåligt definierade så anser vi att vi inte kan basera rekommendationer på det underlag vi hittat.

6. Numeriska beräkningar

Majoriteten av de numeriska modeller av brand i dubbelglasade fasader som påträffas i litteraturen är gjorda i Fire Dynamics Simulator (FDS). FDS är en fluiddynamikkod speciellt framtagen för brandfallet. I dokumentationen av programmet ingår en stor mängd valideringsfall där numeriska beräkningar jämförs med experiment [20]. En av dessa jämförelser är med en experimentseriens som utförts i Kanada av Oleszkiewicz [21] [22] i en fasadrigg där värmeflödet in mot fasaden uppmättes med ett antal värmeflödesmätare. Nitton olika experiment, där man varierar två parametrar har jämförts med beräkningar, dock saknas återupprepade experiment för att undersöka reproducerbarheten. De två variationsparametrarna i experimentserien är värmeeffekten och öppningen ut från ursprungsbrandcellen. Resultaten är blandade. För de första tre jämförelserna med en brandcellsöppning på 0,9 x 2 m är korrelationen mellan experiment och FDS modellen mycket dåliga.

Kommentar: Följande parametrar är troliga anledningar till skillnaderna mellan beräkningar och experiment vid brandcellsöppningen 0,9 x 2 m:

- *Gridindelningen är 10 x 10 x 10 cm celler vilket är för litet för att lösa upp flödet tillräckligt bra. Speciellt i zonen där flödet ut från brandcellen övergår från horisontalt till vertikalt torde vara problematisk med för stora beräkningsceller. Den minsta öppningen ut från brandcellen i jämförelsen, 0,9 x 2 m, ger de största avvikelserna.*
- *Värmeflödesmätarmodellen i FDS eller mätningen är inte tillräckligt bra. Totalt värmeflöde, uppvärmning genom strålning och konvektion, till fasaden uppskattades med hjälp av en värmeflödesmätare vid experimenten. Dessa mätningar är trots att de är mycket vanliga inom brandvärlden mycket tveksamma vid förhållanden då en stor del av uppvärmningen ske genom konvektion. Konvektiv uppvärmning är alltid relaterat till ytans temperatur och geometri. När man mäter med en mätare är ytan en liten svart punkt (kort anloppssträcka) som i flertalet situationer har en betydligt lägre temperatur än omgivande yta vilket gör att konvektionskomponenten kraftigt överskattas.*
- *Dålig reproducerbarhet vid experimenten (utav okänd anledning). Inget test kördes två gånger så vi vet inget om reproducerbarheten.*

Jämförelser mellan fasadförsök och modellering med FDS har även utförts på SP Fire Research av Jansson & Andersson (2012) [23] och Anderson & Jansson (2013) [24]. Dessa studier visar att temperaturer nära brandkällan inte korrelerar så bra men längre upp utmed fasaden är korrelationen bättre. Anledningen till detta tros vara brännarens utformning vid SP Fire 105 försöken. Bränslet är ett heptanbål som brinner genom en flamstabilisator vilken blandar in luft i flammen på ett sätt som inte är representativt för ett fribrinnande bål.

Liknande jämförelser som de ovan har även utförts i ett nyligen publicerat examensarbete från Lunds Tekniska Högskola [25]. För detta arbete har en senare version av FDS använts, nämligen FDS 6.2.0, vilken har en uppdaterad turbulensmodell. Slutsatsen från denna valideringsstudie var att FDS 6.2.0 ger trovärdiga resultat längs fasaden, förutsatt en tillräckligt fin grid. Upplösningen på griden behöver dock vara betydligt finare än det som rekommenderas i "vanliga" beräkningsfall [25].

Li et al (2012) [26] genomförde en numerisk studie med hjälp av Fire Dynamics Simulator (FDS) av branddynamiken i Chows (2006) [16] provuppställning. Inkluderat i studien var en parameterstudie där man kommer fram till att en 1 meter djup kavitet var den mest ogynnsamma eftersom den inre glaspanelen kunde förstöras innan den yttre panelen.

Kommentar: En invändning avseende resultaten är att ingen jämförelse med experiment redovisas i artikeln samt att endast en öppningsgeometri ut från den ursprungliga brandcellen användes. Några långtgående slutsatser från resultat från denna artikel kan därför inte dras.

Cheuk Lun Chow genomförde också en serie simuleringar med hjälp av FDS. Studien syftar till att studera hur brandgaser från en övertänd brand sprids i luftspalten i en dubbelglasfasad upp till 15 m med bränder på 1 eller 5 kW på plan 3 [27]. Sammanfattningsvis menar Chow att det föreligger en risk att temperaturen i spalten ökar mer längs den inre fasaden än den yttre. Detta kan leda till en sådan temperaturökning att de inre fönstren spricker och släpper in brandgaser och/eller lågor.

Chow nämner i samma studie att faran med dubbelglasfasader skapas av tre oberoende faktorer:

- Brandbelastningen i byggnaden.
- Luftspaltens djup (avstånd mellan inre och yttre fasad).
- Byggnadens höjd.

Cheuk Lun Chow arbetade efter simuleringsförsöken fram en enkel matematisk modell för att beskriva hur varma brandgaser flödar i en luftspalt. Denna modell arbetades fram genom att utgå ifrån ett endimensionellt flöde där varma gaser far upp längs luftspalten [28]. För att verifiera denna modell utfördes försök på en dubbelglasfasad. Två olika modeller användes, en sex meter hög och en femton meter hög. Den matematiska modellen utmynnade i fyra olika uttryck, som sedan anpassades till försöksresultaten med hjälp av minstakvadratmetoden.

Tonkelaar (2003) [29] använde programvaran CFX tillsammans med ett program för strålningsberäkningar kallat WINFIRE för att simulera brandflödena då en yttre glasruta i en dubbelglasfasad faller ut. I modellen ansattes att glaset föll ut då temperaturdifferensen mellan rutan och infästningen blev över 70 grader. I modellen ansattes också en vindprofil in mot fasaden för att testa ett "worst case" scenario. Simuleringarna antyder att de yttre rutorna faller efter endast 7.5 sekunders påverkan men då startar modellen med en fullt utvecklad brand som källa. Dock innehåller artikeln för få detaljer och ingen experimentell verifiering för att vara användbar. Det intressanta med modellen är att en extern vindprofil ansattes. Vi vet från erfarenheter att vindpåverkan på externa flammor på fasader kan vara mycket påtaglig. SP Fire Research deltog i en experimentell studie där 6 fasadtester enligt British standard utfördes utomhus. Testerna utfördes tre och tre vid två tillfällen och vid det första tillfället varierade vinden mellan 2-5 m/s och vid det andra tillfället mellan 0-2 m/s. Förbränningshastigheten i brännkammaren påverkades av vinden samt flammorna på fasaden fluktuerade kraftigt [30].

Cristian Pelo (2015) [31] har i sin magisteravhandling gjort en fallstudie där han modellerar en dubbelglaskonstruktion i Hammarby sjöstad i Stockholm. Branddynamiken modelleras i FDS och glastrutorna modellerades i Abaqus.

Kommentar: Studien är intressant då den visar möjligheter med att använda avancerade beräkningsverktyg men jämförelser med valideringsexperiment saknas vilket gör att mycket stora fel kan finnas "dolda" i beräkningarna.

6.1 Tillämpade beräkningar

Ur ett allmänt brandsäkerhetsperspektiv bör regelverk och riktlinjer beskriva en rimlig nivå på brandskydd utifrån ett samhällsperspektiv, främst inriktat på personskydd då andra skyddsmål kan vara svåra att definiera på samma sätt. Kunskapen om bränder (brandscenarier) är baserade på erfarenhet från inträffade bränder, forskning, riskmodeller och beräkningar.

Det byggs idag anläggningar i Sverige med dubbelglasfasader och eftersom det saknas tydliga riktlinjer för dessa konstruktioner finns det risk att dessa utformas olika beroende på projekterande brandskyddskonsult. Detta innebär att riskbilden kommer variera i landet. Syftet med detta delkapitel är att beskriva erfarenheter från tillämpade beräkningar avseende dubbelglasfasader.

6.1.1 Metodval

I och med att lösningen är relativt ny saknas idag anpassade riktlinjer för dubbelglasfasader i svenska regelverk, se avsnitt 3. Det finns också en begränsad mängd erfarenhet från uppkomna bränder och forskningsresultat vilket redovisas i avsnitt 5. Detta innebär att man vid dimensionering idag dels saknar accepterade lösningar, förutom de presenterade i avsnitt 3, samt har begränsad tillgång till validerade modeller för möjlig beräkning av situationen.

För beräkning av flammor ut längs väggar finns riktlinjer i bilaga B i SS-EN 1991-1-2 [7]. Dessa handberäkningsmodeller behandlar dock inte fallet med en yttre liggande fasad. Beräkningsmodellerna är även väldigt förenklade och har visat sig producera resultat som i många fall bedöms innebära orealistiska över- och underskattningar av potentiella flammor. Vid jämförelser med utförda försök har detta bekräftats [32].

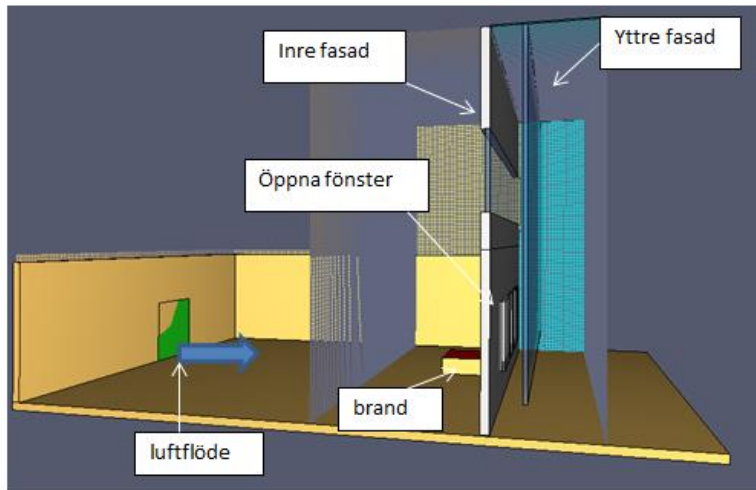
För att kunna göra en bedömning av hur brand-, rök- och temperaturspridning kan tänkas förekomma i ett fall med dubbelglasfasader har Brandskyddslaget därför i vissa fall använt CFD beräkningar. Detta eftersom CFD anses som det bästa beräkningsverktyget för värme och rökspridning i komplicerade geometrier. I brandsammanhang är det vanligaste programmet för tillämpning av detta FDS.

Det ska dock understrykas att FDS inte är validerat för just denna typ av beräkningar, vilket är en brist i metodvalet. För att bedöma resultaten har därför beräkningarna granskats kritiskt och konservativa lösningar väljs som standard. Metoden bygger primärt på att visa hurvida den yttre fasaden kan förväntas kollapsa före den inre. Detta eftersom att situationen då är densamma som den förenklade lösningen enligt BBR, vilket är en acceptabel nivå. Ett angreppssätt för att studera detta är att först beräkna ett brandfall utan yttre fasad och sedan jämföra den med ett beräknat fall med yttre fasad. Om temperaturlastningen är sådan att den yttre fasaden kan förväntas kollapsa först erhålls alltså en situation men en "vanlig" fasad som finns beskriven i BBR. Metoden för att bedöma om denna situation kan uppstå utförs genom att beräkna temperaturen på både den inre och den yttre fasaden vid olika tidpunkter. Det bör alltså även påpekas att den analyserade situationen är jämförande mot regelverk och att risken för eventuell brandspridning därför endast studeras med en jämförande utgångspunkt.

6.1.2 Geometriska förhållanden

I de flesta av de försök som utförts är branden begränsad till ett mindre rum. Detta gäller också SP Fire 105 vilket är den testmetod som ligger närmast den aktuella frågeställningen och som behandlar fasadbränder, dock ej med ytterfasad. Omslutningsarean inklusive öppningen i testuppställningen är cirka 23 m² med en större öppning ut mot fasaden och en mindre öppning i bakkant av brandrummet. Bränslet är 60 liter heptan i ett kärl försett med flamdämpare vilket leder till effekt på mellan 2-2,5 MW.

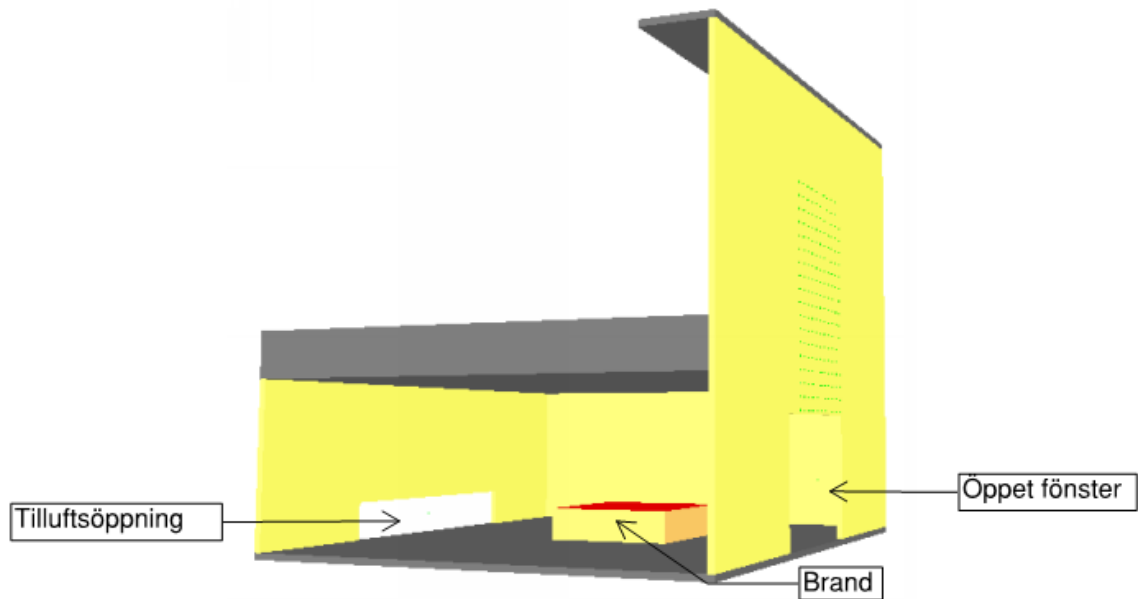
Dessa förhållanden är inte nödvändigtvis representativa för alla byggnadstyper och exempelvis så är idag en öppen planlösning av modernt i kontor, vilket innebär en annan situation avseende förväntad brandpåverkan. Samtidigt eftersträvas hög flexibilitet så att en ökad rumsindelning kan bli aktuell. Erfarenhet från utförda beräkningar visar att vid större rum krävs mycket stora bränder för att flammorna ska sträcka sig ut genom fönster. Detta kan då påverka giltigheten i resultaten eftersom att FDS inte behandlar underventilerade bränder speciellt bra [33]. I vissa utförda beräkningar där flamma och temperaturflöden inte naturligt gått ut via fönster i fasad har därför i vissa fall en påtvingad luftström använts i simuleringarna för att på så sätt "trycka ut" flammor genom fönster. Detta illustreras i figuren nedan.



Figur 10. Illustration över beräkningsuppställning.

Att ansätta luftflöden och på detta sätt medför givetvis felkällor och resultaten ska därför behandlas med stor försiktighet. Dock minskar detta luftflöde också risken för underventilerade förhållanden som beräkningstekniskt kan orsaka problem.

Det finns dock exempel på beräkningar där luftflöden inte ansatts och flaman ändå slagit ut på ett realistiskt sätt. I dessa fall har hög effekt (dock ej underventilerade förhållanden) och en begränsad rumsstorlek använts. Tilluftens utformning har i dessa beräkningsfall utformats för att efterlikna den utformning som SP Fire 105 har. Detta innebär en bred tilluftsöppning som placerats lågt i motstående vägg mot fönstret. Ett exempel på en sådan geometri visas i figuren nedan.



Figur 11. Illustration över beräkningsuppställning 2. Observera att den yttre fasaden inte visas i figuren. Denna kan dock placeras på varierande avstånd från den inre fasaden.

Det är alltså en avvägning mellan rumsstorlek, brandplacering, brandstorlek och utformning av tilluft för att återspegla realistiska flammor och temperaturprofiler längs fasaden. Rummets geometri och brandeffekt har visat sig ha stor betydelse för resultatet.

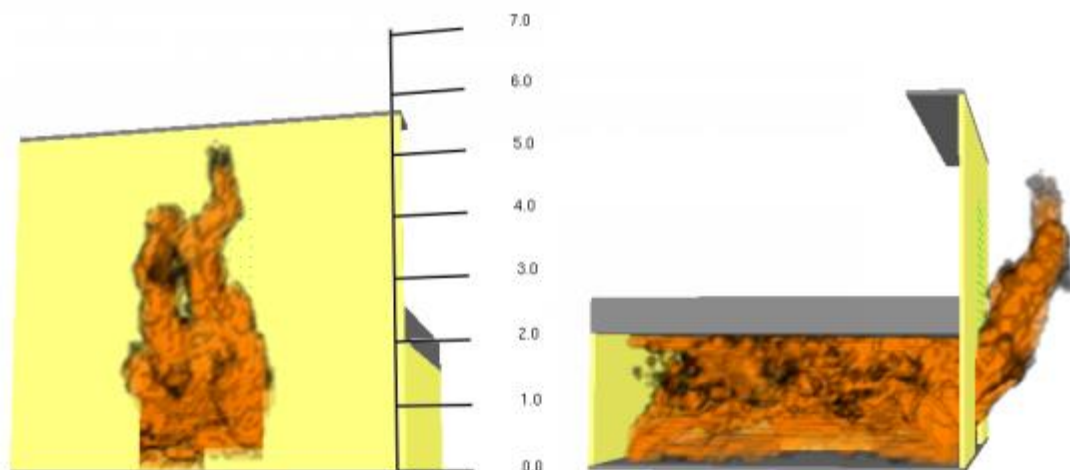
6.1.3 Exempel på resultat

Relevant utdata från denna sorts beräkningar är främst temperaturprofiler ut genom fönstret och i fasaden samt ytemperaturer längs både inner- och ytterfasad. För att illustrera skillnaderna i flammans utbredning kan även detta studeras i FDS men denna typ av resultat har mer ett illustrativt syfte än ett praktiskt.

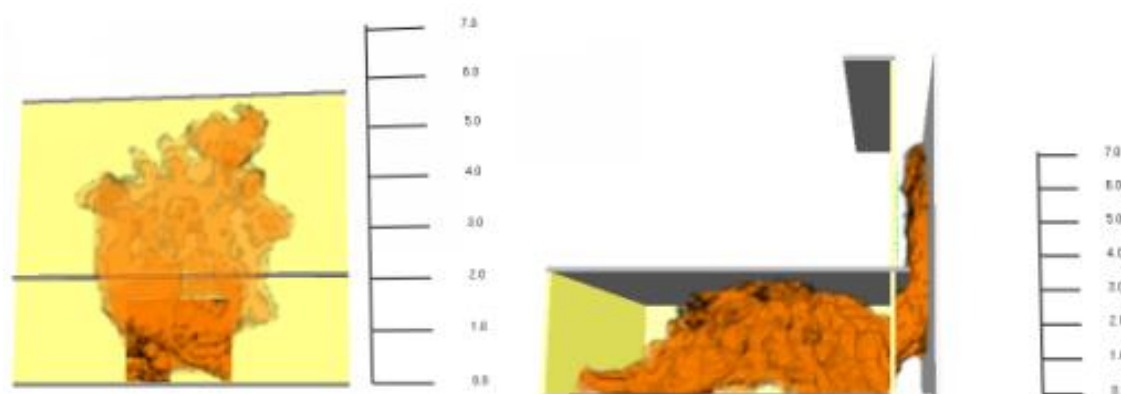
Nedan redogörs för hur olika resultat skulle kunna se ut i sådana här beräkningar. Detta är endast exempel för att illustrera hur problemet behandlas idag och resultaten är inte framtagna för att vara generellt applicerbara.

Flamutbredning

Enligt ovan studeras flamutbredning primärt i illustrativt syfte. Resultaten kan dock ses som en indikation på hur en flamma skulle kunna bete sig i ett verkligt fall. Exempel på flamutbredningar med och utan dubbelglas fasad visas i figurena nedan.



Figur 12. Flamutbredning utan yttre fasad.

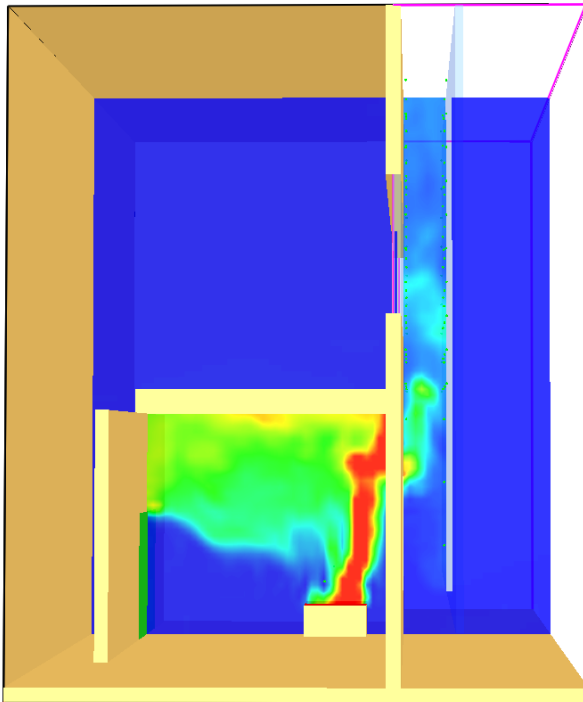


Figur 13. Flamutbredning med yttre fasad. Observera dock att det i denna beräkning även finns en "skärm" på ett par decimeter i bjälklagshöjd.

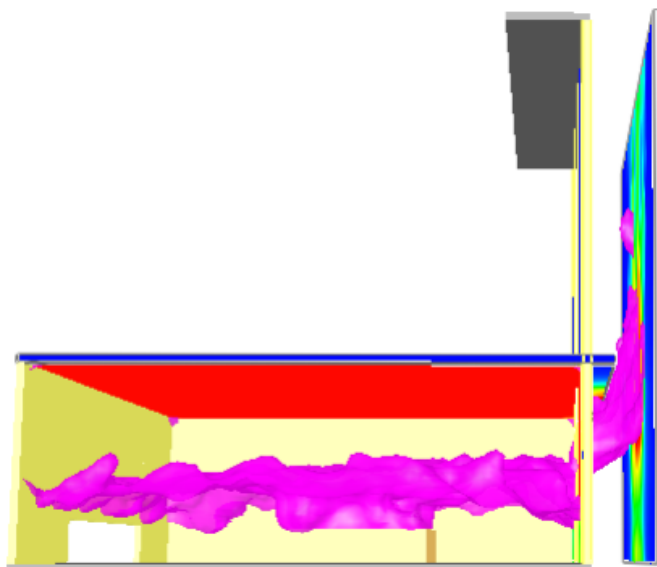
Illustrationerna ovan visar att en flamma ut från ett fönster utan ytterfasad "lutar" lite ut från fasaden, vilket primärt bedöms bero på hastigheten utåt hos de varma gaserna från brandrummet. Detta fenomen innebär även att flamman primärt lägger sig mot den yttre fasaden, om en sådan förekommer. Erfarenheter från olika beräkningar visar dock att luftspaltens storlek (avstånd mellan inre och yttre fasad) har stor påverkan på denna faktor. Även andra geometriska förutsättningar såsom öppningens geometri kan påverka dessa förhållanden.

Temperaturprofil inom fasaden

Temperaturprofilen inom fasaden är relevant eftersom att denna visar hur belastningen mot inner och ytter fasad kan förväntas se ut. Temperaturprofilen kan ge indikationer på huruvida den yttre fasaden belastas hårdare än den inre. De kan även visa hur stor uppblandning av brandgaserna som kan förväntas inom fasaden. Temperaturprofilen kan antingen redovisas som ett tvådimensionellt plan genom brandrum och fasad, se figur 13, eller som ett tredimensionellt plan för utbredningen av en specifik temperatur, se figur 14.



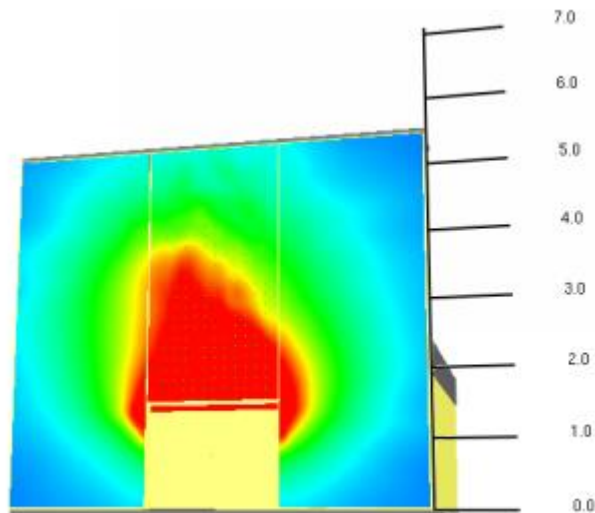
Figur 14. Temperaturprofil genom fasaden som ett tvådimensionellt plan.



Figur 15. Tredimensionell utbredning för en specifik temperatur (isoterm) i ett rums och fasadscenario.

Yttertemperaturer längs inner- och ytterfasad

Fasadernas ytemperaturer är relevanta att studera då dessa kan ge indikation på huruvida fönsterglas och liknande kan förväntas vara intakta eller inte. Ett exempel på hur denna temperatur skulle kunna se ut visas i figuren nedan.



Figur 16. Den framräknade adiabatiska yttemperaturen på innerfasaden.

Den adiabatiska yttemperaturen kan i fallet för innerfasaden troligtvis anses som ett konservativt sätt att estimeras brandpåverkan i FDS eftersom den per definition inte innehåller någon värmeledning in i glaset. Viktigt att komma ihåg är att FDS i sina beräkningar av temperaturfält inkluderar värmeförluster in i väggarna men kan fås att göra en extra beräkning för varje tidssteg där en balans mellan lokal strålningspåverkan och konvektiv påverkan balanseras mot varandra utan förluster, den adiabatiska yttemperaturen enligt definitionen i FDS.

7. Diskussion

En grundläggande problematik som identifierats i denna rapport är avsaknaden till anpassade riktlinjer för hur dubbelglasfasader ska konstrueras. De riktlinjer som ges i BBR och i BBRAD är inte anpassade för denna typ av konstruktioner vilket kan innebära att utformningen behandlas olika från projekt till projekt. Detta beror troligtvis på att lösningen är relativt ny i Sverige, vilket inneburit att byggreglerna ännu inte hunnit ikapp. Det kan dock konstateras att riskbilden i en byggnad onekligen påverkas om en konstruktion med dubbelglasfasad tillämpas.

Dessutom saknas det kunskap inom området. Bränder är komplexa fenomen som är svårberäknade. Den pålitligaste källan till kunskap är därför brandförsök, både fullskaliga och småskaliga. Resultatet av rapporten visar att de fåtal som gjorts bör kompletteras och utföras utifrån svenska förhållanden avseende byggnadstekniska konstruktioner.

Med hänsyn till det kunskapsläge som redovisas i denna rapport bedöms det dock svårt att ge vidare vägledning kring konstruktionerna. De fullskaleförsök som genomförts har dessvärre vissa brister som att resultaten är svåra att dra konkreta slutsatser av. Främst är det svårt att läsa ut från publikationerna exakt hur glas och ramverka varit konstruerade. Det är också svårt att bedöma hur relevanta de valda brandscenarierna är (inkluderat valet geometri på öppningen ut från primärbrandcellen).

Det bedöms även problematiskt att beräkningsmässigt studera konstruktionerna. Detta eftersom att de beräkningsmodeller som finns i dagsläget saknar tillräckliga validitetsstudier för att kunna säkerställa att dessa redovisar realistiska resultat. Beräkningsmodellen byggd i FDS bedöms i vissa utförda beräkningar uppvisa indikationer på resultat som är rimliga utifrån uppsatta parametrar. Detta behöver dock bekräftas med utförliga jämförelser med fullskaleförsök för att tillförlitligheten ska vara tillräcklig för att kunna användas i brandtekniska analyser.

Ett perspektiv som inte tagits upp specifikt i denna rapport är fasadlösningens påverkan på räddningstjänstens insats. I och med den yttre fasaden kan en yttre släckinsats bli försvårad. Detta är emellertid även ett problem i byggnader med "vanliga" fasader som är över 8 våningar eftersom att räddningstjänsten inte kan förväntas nå högre än så utvändigt. Det finns ingen regelmässig brytpunkt vid denna byggnadshöjd, vilket indikerar att utvändig släckinsats traditionellt inte varit ett problem med fasader som uppfyller de regler som redovisas i avsnitt 3 i denna rapport.

En ytterligare aspekt som delvis är kopplad till räddningstjänstens insats är risken för nedfallande delar från fasaden vid en brand. I utförda beräkningar studeras huruvida den yttre fasaden kan förväntas rämna innan den inre, eftersom att risken för brandspridning då är densamma som vid en traditionell fasad. Detta innebär att lösningen bygger på att fasaddelar ramlar ner, vilket ska begränsas enligt BBR. Hur mycket nedfallande delar som är acceptabelt är inte tydligt definierat men detta är något som måste beaktas vid denna typ av lösning. Detta med hänsyn till både insatspersonalens och de utrymmandes säkerhet.

8. Slutsatser

Följande slutsatser kan dras av denna förstudie:

- Dubbelglasfasader påverkar risken för brandspridning mellan olika våningsplan.
- Det saknas tillräcklig verklighetsförankrad kunskap främst i form av erfarenheter från inträffade bränder och brandexperiment inom området.
- I dagens byggregler saknas det riktlinjer kring utformningen av dubbelglasfasader. Detta gäller både det förenklade och det analytiska regelverket.
- Ytterligare validering genom jämförelser med fullskaleförsök bör göras med beräkningsmodellen FDS för att undersöka huruvida denna ger pålitliga resultat för denna typ av situationer.

9. Förslag på framtida forskning

Dubbelglasfasader används idag och kommer sannolikt också att fortsätta användas.

Litteraturstudien visar att det saknas kunskap, riktlinjer (regelverk) och tillräcklig verifiering av de modeller som används idag inom området bränder och dubbelglasfasader. Med grund i detta rekommenderas nedanstående punkter som vidare utredning:

- Fullskaliga brandförsök utifrån svenska förhållanden bör utföras för att studera hur dubbelglasfasaden påverkar risknivån vid brand i förhållande till BBR. Fullskaleförsöken utformas för att försöka visa hur en acceptabel lösning kan se ut.
- Validering av CFD-modeller (ex. FDS) mot fullskaleförsök bör utföras. Detta för att förhoppningsvis kunna använda dessa modeller till att mer kostnadseffektivt kunna studera många olika uppställningar av fasadlösningen. Fullskaleförsöken från ovanstående punkt kan användas till detta.
- Hur räddningstjänstens insatsmöjligheter påverkas av fasadlösningen bör studeras. Det är även relevant att kartlägga gällande kunskapsläge avseende dubbelglasfasader hos räddningstjänsterna.

Litteraturförteckning

- [1] P.-O. Carlsson, "Bygga med glas," Glasbranschföreningen, Stockholm, 2005.
- [2] C. Schiefer, R. Heimrath, H. Hengsberger, T. Mach, W. Streicher, M. Santamouris, I. Farou, H. Erhorn, H. Erhorn-Kluttig, M. Matos, R. Duarte och Å. Blomsterberg, "Best Practice for Double Skin Facades," BESTFACADE, 2008.
- [3] M. Ödesjö, "Dubbla glasfasader - Så funkar det!," *Bygg Glas*, pp. 28-33, 2000.
- [4] A. Werner, "Fönster - tillgång och problem," ÅF, Stockholm/Gävle, 2008.
- [5] Boverket, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6), BFS 2015:3, BBR22, Karlskrona: Boverket, 2015.
- [6] Boverket, Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2011:27, BBRAD3, Karlskrona: Boverket, 2011 (med ändringar till och med, 2013:12).
- [7] Swedish Standards Institute, "SS-EN 1991-1-2 - Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-2: Allmänna laster – Termisk och mekanisk verkan av brand," SIS Förlag AB, Stockholm, 2007.
- [8] H. J. L. Morgado, J. P. Rodrigues och L. M. S. Laim, "Experimental and Numerical Study of Balcony Effect in External Fire Spread into Upper Floors," i *Application of Structural Fire Engineering*, Prag, 2013.
- [9] V. K. Menon, "BKC blaze: Glass and fire do not mix," *Mid-day news*, 8 September 2012.
- [10] P. Walmerdahl och P. Werling, "Försök med brandpåverkan mot dubbelglasfasad," Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 2000.
- [11] M. Delin och P. Walmerdahl, "Full scale fire test with double skin glass façade," i *9th Interflam conference*, Edinburgh, 2001.
- [12] C. L. Chow, S. S. Li och D. X. Huang, "Apron design for protecting double-skin façade fires," *Fire and Materials*, pp. 189-206, 2015.
- [13] Y.-P. Lee, M. A. Delichatsios, Y. Ohmiya, K. Wakatsuki, A. Yanagisawa och D. Goto, "Heat fluxes on opposite building wall by flames emerging from an enclosure," *Proceedings of the Combustion Institute* 32, pp. 2551-2558, 2009.
- [14] L. H. Hu, F. Tang, M. A. Delichatsios, K. H. Lu och X. C. Zhang, "Global behaviors of enclosure fire and façade flame heights in normal and reduced atmospheric pressures at two altitudes," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, pp. 119-126, 2013.
- [15] W. Ding och Y. Y. T. Hasemi, "Smoke Control using a Double-skin Façade," i *8th International Symposium on Fire Safety Science*, Beijing, 2005.
- [16] W. K. Chow och W. Hung, "Effect of cavity depth on smoke spreading of double-skin facade," *Building and Environment*, pp. 970-979, 2006.
- [17] W. K. Chow, W. Hung, Y. Gao, G. Zou och H. Dong, "Experimental study on smoke movement leading to glass damage in double-skinned facade," *Construction and Building Materials*, pp. 556-566, 2007.

- [18] P. H. Thomas och L. M., "The projection of flames from building fires," *Fire Prevention Science and Technology*, 1974.
- [19] C. L. Chow, "Full-scale burning tests on double-skin façade fires," *Fire and Materials*, pp. 17-34, 2013.
- [20] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk och K. Overholt, "Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation," NIST, VTT, Gaithersburg, Espoo, 2015.
- [21] I. Oleszkiewicz, "Fire Exposure to Exterior Walls and Flame Spread on Combustible Cladding," *Fire Technology*, pp. 357-375, 1990.
- [22] I. Oleszkiewicz, "Heat Transfer from a Window Fire Plume to a Building Façade," *HTD - Collected Papers in Heat Transfer*, pp. 163-170, 1989.
- [23] R. Jansson och A. Anderson, "Experimental and Numerical Investigation of Fire Dynamics in a Facade Test Rig," i *Fire Computer Modeling*, Santander, 2012.
- [24] J. Anderson och R. Jansson, "Façade fire tests – measurements and modeling," i *1st International Seminar for Fire Safety of Facades*, Paris, 2013.
- [25] M. Nilsson, "The impact of horizontal projections on external fire spread - A numerical comparative study," Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 2016.
- [26] J. Li, X. Xuefei, H. Cheng, L. Yanfeng, Y. Chenchen och L. Shanshan, "Numerical studies on effects of cavity width on smoke spread in doubleskin façade," i *2012 International Symposium on Safety Science and Technology*, Nanjing, 2012.
- [27] C. L. Chow, "Numerical Studies on Smoke Spread in the Cavity of a Double-skin Façade," *Journal of Civil Engineering and Management*, pp. 371-392, 2011.
- [28] C. L. Chow, "Spread of Smoke and Heat along Narrow Air Cavity in Double-Skin Façade Fires," *Thermal Science*, pp. 405-416, 2014.
- [29] E. Tonkelaar, "Prediction of the effect of braking windows in an double skin facade as a result of fire," i *8th International IBPSA Conference*, Eindhoven, 2003.
- [30] J. Anderson, L. Boström, R. Jansson och B. Milovanovic, "Fire dynamics in façade fire tests: measurement, modelling and repeatability," i *Applications in Structural Fire Engineering*, Dubrovnik, 2015.
- [31] C. Pelo, "Double-Skin Glass Façades and Compliance with the Fire Safety Rules in Building Code 21 (BBR 21)," Luleå Tekniska Universitet, Luleå, 2015.
- [32] S. Klopovic och O. Turan, "A comprehensive study of externally venting flames - Part I. Experimental plume characteristics for through-draft and no-through-draft ventiation conditions and repeatability," *Fire Safety Journal*, pp. 99-133, 2000.
- [33] A. Björklund, "Risks in using CFD-codes for analytical fire-based design in buildings with a focus on FDS:s handling of under ventilated fires," Avdelningen för brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska högskola, Lunds Universitet, Lund, 2009.



BRANDSKYDDSLAGET

Brandskyddslaget
P.O. Box 9196
SE-102 73 Sverige
brand@brandskyddslaget.se
www.brandskyddslaget.se
Telephone: +46 8 588 188 00

OUR SPONSORS & PARTNERS:



RAPPORTER UTGIVNA AV BRANDFORSK 2016:

- 2016:1** Utrymning i långa trappor uppåt:
Utmattning, gånghastighet
och beteende
- 2016:2** Förflyttning vid utrymning
- 2016:3** Dubbelglasfasader
- En brandteknisk förstudie
- 2016:4** Utveckling och validering av
enkla och praktiska modeller för
beräkning av brandgastemperaturer
i rum/brandceller
- 2016:5** Brandskyddsfärgens funktion vid
riktiga bränder
- 2016:6** Detaljutformning av moderna
betongkonstruktioner för att
förbättra brandmotståndet
- 2016:7** ETANKFIRE - Släckning av en
etanolcistern för att förbättra brand
motståndet
- 2016:8** Metoder för att följa upp
efterlevnad av brandskyddskrav

1979 bildades Brandforsk som svar på behovet av ett gemensamt organ för att initiera och finansiera forskning och utveckling inom brandsäkerhetsområdet.

Brandforsk är statens, försäkringsbranschens och industrins gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning.

Huvudman för Brandforsk är Brandskyddsföreningen och verksamheten leds av en styrelse och bedrivs i form av projekt vid universitet och högskolor, forskningsinstitut, myndigheter och företag.



Brandforsk

Årstaängsvägen 21 c
Box 472 44, 100 74 Stockholm
Tel: 08-588 474 14
brandforsk@brandskyddsforeningen.se